

A CERES modell felhasználása szakterületünkön

Az utóbbi években fokozódik a kutatók érdeklődése az ún. crop modellek alkalmazása iránt. Az oktatásban is megjelent az igény a szimulációs modellek megismerésére, illetve didaktikai alkalmazásukra. A döntéselőkészítő és szakértői rendszerek elterjedésével a mezőgazdasági döntéshozók különböző szinteken ugyancsak találkoznak a talaj-növény-klíma események előrejelzésére alkalmas technikákkal. Egy elterjedt szimulációs rendszermodell CERES néven ismert. Alkalmazása Magyarországon is terjedőben van. Az alábbiakban a fenti modellel kapcsolatos eddigi tapasztalataimat osztom meg.

A crop modellek felhasználási területei:

A kutatásban a rendszermodellek az ökológiai rendszer időbeli dinamikájának, működésének jobb megismerésében, ismereteink hiányzó láncszemeinek felismerésében segítenek. Modellépítés közben gyakran derül ki, hogy a produkció vagy bizonyos környezeti hatások szempontjából fontos tényezőket vagy összefüggéseket nem szoktunk mérni vagy figyelni. Ez új célt és lendületet ad a kísérletes kutatásnak.

Az oktatásban hasznos, mert a konkrét agronómiai problémák bonyolult összefüggéseit párbeszédes módon ismerteti meg. Változatos kérdéseket fogalmazhatnak meg a szimulációs prog-

ramnak a környezeti hatások és a produkciós folyamatok kapcsolatairól a feltételek szabad kombinálásával (különböző vetésidők, trágyázások, öntözések, időjárási események, elővetemények, fajták stb). Másrészt a hallgatók megismerik a szimulációs modellek koncepcióit és képük lesz arról, hogy mire képes és alkalmas egy szimulációs modell, mit nem szabad elvárni tőle, illetve hogyan lehet meggyőződni a megbízhatóságukról. Mire a mai hallgatók a gyakorlatba kerülnek számítani lehet a döntéselőkészítő és szakértői rendszerek széles körű elterjedésére.

A termesztési gyakorlatban ma még ezek a programok nem terjedtek el, mert a kutatók érzik a gyenge pontokat, fejlesztik. Ezért legtöbbször nem is készítik el annyira felhasználóbarát kivitelben, hogy a gazdák is elboldogulnának vele. Éveken belül komoly változásra lehet számítani e téren.

Ellentmondások a modellezés megítélésében

Tudományos körökben a különböző modellek validálásával kapcsolatban komoly aggályok merültek fel 1994-ben a Nemzetközi Talajtani Társaság Kongresszusán, Acapulco-ban, és az Amerikai Talajtani Társaság Kongresszusán Seattle-ben (LOAGUE, 1994; VAN GENUCHTEN, 1994). Bizonyos magas ma-

tematikával és fizikával felfegyverzett, de idealizált feltételekre (pl. részecske formákra, elrendezésekre) értelmezett modellek csakis elméletileg igazolhatók vagy támadhatók és nem hozhatók összefüggésbe a valóságos mezei viszonyok méréseivel. A víz és a sók talajbeli mozgásának leírásához például számos modell feltételezi a talaj részecskéiről azok egységes gömb formáját és az egyenletes térbeli eloszlást. Az említett egyenletekben szerepelnek bizonyos együththatók, hatványkitevők, melyek gyakorlatilag még nem határozhatók meg. A hozzá nem értő alkalmazások és az azokból levont következtetések vezetnek az elméleti modellezők erőteljes validálás-ellenes hangulatához és az eddig is szkeptikus kívülállók fokozott bizalmatlanságához mindenféle szimulációs modell mezőgazdasági alkalmazhatóságát illetően.

A valóságban két szimulációs tábor létezik. Az egyik a holnaputának dolgozik, ezek a fenti elméleti modellezők, a másik a holnapnak készíti a ma is kipróbálható alkalmazási modelljét. A két tábor nem áll ellentétben egymással, a különbség az, hogy az egyik csakis a kutatás eszközeként használja a modellezést, a másik ezen kívül arra is kísérletet tesz, hogy az eddigi ismereteket rendszerbe építse, az első az analízis, a második a szintézis eszközeként használja a szimulációt. Az eltérő célból eltérő szerkezet következik és a bemenő és eredmény állomány eltérő használhatósága ered.

Egy gyakorlati célokra szolgáló modell is lehet "mechanisztikus", azaz a folyamatokat ok-okozati lépéseiben leíró jellegű, de csak olyan összefüggésekre, amelyek a növénytermesztés reális feltételei mellett igazak. Bonyolult rendszerek modellezésénél hangsúlyozzák a

megközelítés robosztusságának igényét. Ez a kifejezés arra utal, hogy a modell nem foglalkozik a cél szempontjából felesleges részletekkel, melyek a hibalehetőséget növelik. Robosztus modellek építéséhez nagymértékű lényeglátás, egyszerűsítésre való képesség szükséges. Az arány kérdés, a lépték megválasztása szintén e problémakörbe tartozik. Mezőgazdasági célra orientált talaj-növény-atmoszféra rendszer jelenségeinek komplex megragadásához jelenleg nem indokolt a perces, illetve a molekuláris lépték. Sokkal inkább a növényegyedből kiinduló és napi lépték és az ún. kapacitás elven működő szimuláció, pl. a vízmozgásnak a rétegek vízkapacitásán alapuló modellje. A modell robosztusságának szabatos mérése még nem megoldott.

A CERES modell története

Kezdeményezője J. T. Ritchie volt 1972-ben a USDA ARS-hez tartozó Blackland Kutató Állomáson, Temple városban Texasban. Célja termés-előrejelzés volt az időjárás, a talaj és a növényfaj, -fajta tulajdonságai alapján. Neve a Crop-Environment Resource Synthesis rövidítéséből származik. Ritchie talajfizikával, vízgazdálkodással foglalkozott, a munkára interdiszciplináris csoportot szervezett. Egy évtized után az eredeti csoport feloszlásával a CERES központ a Michigan Állami Egyetemre került RITCHIE vezetésével. JONES és KINIRY (1986), akik még Temple-ben maradtak, szerkesztették meg a CERES Maize-t ismertető könyvet. Majd Jones a Florida Egyetemre tette át székhelyét, ahol GRO néven folytatta a modellek építését, lényegében azonos elveken. Ott elkészült a szója, a földimogyoró és a

bab model (SOYGRO, PNUTGRO, BEANGRO). Ezeket később G. Hoogenboom foglalta össze egy általános, hüvelyes modellbe a Georgia Egyetemen.

A fenti modelleket a 10 évig működő IBSNAT project fogta össze a Hawaii Egyetemen. Ennek keretében készült az ún. DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) döntéstámogató rendszer. A DSSAT egy rendszerbe ölelte a fenti modelleket, közös bemenő, eredmény formátum és adatbázis által, valamint a futások eredményeinek tárolására és grafikai megjelenítésére alkalmas környezetbe helyezte. E helyen nem foglalkozom a DSSAT használatával, mert annak eddigi változataiban az adatfelvitel rendkívül körülményes volt. Az új ún. 3.0 változat ebben az időben kerül piacra. Az IBSNAT modelleket tanfolyamokon oktatják a Hawaii Egyetemen (Honolulu), a Floridai Egyetemen (Gainesville), a Nemzetközi Trágyázás Fejlesztési Központban (IFDC) (Muscle Shoals, Alabama Állam) és a Nemzetközi Rizs Intézetben (IRRI), a Fülöp-Szigeteken.

Említésre méltó, hogy öt nagy kutatóközpont részvételével megalakult az ICASA nevű konzorcium, mely a régi IBSNAT-tagokat és a holland (Wageningen) iskolát, akik a SARP (Délkelet-Ázsiai Rizs Termesztés program) vezetői is voltak, kapcsolja össze a mezőgazdasági modellezés fejlesztése érdekében. Az IFDC-ben befejezéshez közeledik a foszfor tápanyag modell beépítése a CERES-be.

Egy másik elterjedten használt modell az EPIC, melyet J. R. WILLIAMS és munkatársai (1984) dolgoztak ki, szintén a Blackland Kutató Központban készült, sőt jelenleg is ott fejlesztik. Ez kezdetben az erózió modellezését célozta. Mivel azonban a növényi fedettség, párolog-

tatás azt is befolyásolta, már induláskor átvették a CERES elveket, ill. bizonyos rutinokat. Szerencsés megbízás folytán az EPIC-et az USA minden államára kidolgozhatták, mely széles körben ismertté tette. KINIRY és munkatársai (1992) készítettek egy modellt a gazdanövény-gyomnövény verseny leírására, szintén CERES alapokon és az EPIC programhoz kapcsolódva.

A CERES mára minden kontinensen elterjedt. Magyar szerzőktől még kevés a közlemény (KOVÁCS et al., 1989; HUNKÁR, 1994; BACSI & HUNKÁR, 1994; KOVÁCS & NÉMETH, 1995). A nagy múltú tartamkísérletek jó lehetőséget adnak a modellek adaptálásához (DEBRECENI & DEBRECENI-NÉ, 1994) és a kapcsolódó elemzések (NÉMETH, 1994) a környezetvédelmi alkalmazásokhoz (KOVÁCS & RITCHIE, 1994).

A modell általános jellemzése

A CERES a determinisztikus modellek csoportjába tartozik. Fontosabb modellezett folyamatok: a növények fejlődése, az asszimiláció, az asszimiláták elosztása, a levélfelület, a gyökerezési mélység és gyökérsűrűség rétegenként, a biomaszra növekedése, a víz mozgása a talajban, evapotranszspiráció, a nitrogén átalakulása és mozgása a talajban, a növény N-felvétele és -elosztása.

A CERES ún. robosztus modell, vagyis a jelenségeket nagy vonalakban közelíti meg, egyszerűsége, arányosságra törekszik. Az egyes részfolyamatokat függvények írják le, ezek vannak összekapcsolva különböző feltételes utasításokkal, a folyamatok reális kapcsolódásának tükrözése céljából.

A modell napi léptékben számol, az időjárási adatigénye is ennek megfelelő,

az eredmények is legfeljebb napi sűrűséggel kérdezhetők le. A területegység, melyet homogénnek tételez föl, az egy növény tenyészterülete. Ennél nagyobb, tetszőleges méretű területre lehet futtatni, amelyre nézve rendelkezünk bemenő adatokkal. A modell tehát lényegében egyetlen növényt és környezetét képezi le. A talajrétegzettségét a valóságosnak megfelelően kell beállítani. A potenciális gyökerezési mélységet meg kell adni az illető talaj és növény vonatkozásában. Egy réteg maximális vastagsága 30 cm lehet, a rétegek maximális száma 15.

A CERES családban először a kukorica modellje készült el, ezt követték a búza, árpa, cirok, köles, rizs, napraforgó, burgonya. E helyen két fő növényünkre a kukoricára és a búzára nézve teszünk megjegyzéseket a bemenő adatigényeket, érzékenységi megfigyeléseket és a magyar viszonyok között nyert paramétereket illetően.

A program FORTRAN programnyelven íródott és egy éves futásra készült (RITCHIE et al., 1994); minden újabb futáshoz talajnedvességi és nitrogén kezdőértékeket kell megadni. Készítettünk egy verziót vetésforgó-kísérletekhez, mely képes az éveket folyamatosan futtatni a megelőző év eredmény állományait használva a szükséges induló értékekhez. Ehhez hasonlóan működik a kiadás előtt álló DSSAT 3.0 változat.

A folyamatok modellezésének részletesebb ismertetését egy következő munkánkban tesszük közzé. Vonatkozó irodalom található pl. a HANKS és RITCHIE (1991) által szerkesztett könyvben. Az alkalmazási cikkekben folyamatosan további hasznos tapasztalatokat fogunk közölni (KOVÁCS & NÉMETH, 1995).

Aki részletesebb útmutatást keres, annak ajánlom - a fent idézett irodalmakon kívül - a CERES User's Guide 1989,

1991, az IBSNAT 1986, 1988, 1990, az IBSNAT Progress Report 1982-85, 1985-87, 1987-1990, és az IBSNAT Symposium 1989 anyagokat is.

Megjegyzések az adatbevitelhez

A bemenő adatok négy fő csoportba sorolhatók, úgymint: időjárási adatok, talajszelvény leírás, növényi paraméterek, agrotechnikai adatok. Ezenkívül szükséges néhány földrajzi koordináta, mely az időjárás adatállományban kap helyet. (Megjegyzem, hogy az angol "file" szó helyett "állomány" szót, az "input" helyett "bemenő" szót, az "output" helyett "eredmény" szót használok, ha csak lehet.) A bemenő adatok összesen 10 kötelező és két választható állományba vannak sorolva. Az elnevezések kötötten 8 karakterből és a pont utáni 3 karakter kiterjesztésből állnak. Javasolt (a DSSAT rendszerben kötelező) elnevezések: az első két betű a kutatóhely intézmény kódja, a második kettő a kísérleti helyé, ezt követi az évszám két utolsó jegye, majd a kezelés és ismétlés kódok vagy 0-k. Az időjárás állomány kiterjesztése célszerűen W és a kísérleti évszám két utolsó számjegye. Az adatállományok kiterjesztése tartalmazza a növény nevének kódját, pl. WH a búzára vagy MZ a kukoricára stb. Ezeknek az elnevezéseknek egyezniük kell a *kísérleti könyvtár* (MZEXP.DIR vagy WHEXP.DIR) és az *időjárási könyvtár* (WTH.DIR) nevű állományokban felsorolt nevekkkel, mert az hívja be az állományokat. Ha szeretnénk, hogy az eredmény állomány foglalja össze egymás mellett a modell által becsült eredményeket a kísérletben mért, illetve megfigyelt adatokkal, akkor az A-ra végződő kiterjesztésű bemenő állományban meg kell adni a

mért terméseredményeket, nitrogéntartalmakat, stb. A szezonális mérési adatokat (a talajnedvesség és talajnitrogén, valamint a növényi beltartalom) a B-re végződő nevű állomány tartalmazza a becsléssel való összehasonlítás érdekében. Ez az állomány a közönséges futtatáshoz nem szükséges, csak a DSSAT rendszeren belül használható, ezért most nem foglalkozom vele.

Időjárás adatállomány

TKNH0000.W77

Talajszelvény adatállomány

SPROFILE.WH2

Növénymaradvány adatállomány

TKNH7700.WH4

Talaj kezdeti állapot adatállomány

TKNH7700.WH5

Öntözés adatállomány

TKNH7700.WH6

Trágyázás adatállomány

TKNH7700.WH7

Kezelési adatállomány

TKNH7700.WH8

Genetikus adatállomány

GENETICS.WH9

Kísérleti megfigyelt és mért adatállomány

TKNH7700.WHA

Kísérleti könyvtárállomány

WHEXP.DIR

Időjárás könyvtárállomány

WTH.DIR

Amint ismeretes, a FORTRAN program kötött pozíciók szerint olvassa be a változókat, ezért a bemenő állományok tartalmában nem szabad elcsúsztatni a változók pozícióit!

Az időjárás adatállományról

A bemenő állomány első sora földrajzi koordinátákat tartalmaz. A többi 365 sor az év napjainak adatait. A PARFAC és a PARDAT nem használt változók.

A modell érzékeny a földrajzi szélességre, nagyon érzékeny a sugárzási adatok helyességére a hazai (aszályra hajlamos) körülmények között. Szárazságban alulbecsüli a termést, ha a mérőműszer hibás kalibrációja következtében túl nagy sugárzási értéket mérünk vagy számolunk a napfényes órák száma alapján. Ilyenkor a modell túlbecsüli a potenciális transpirációt és irreálisan gyorsan elfogyasztja a vizet.

A hőmérséklet pontos megadása fontos a növény fejlődése és növekedése szempontjából is, hiszen a fenofázisok hosszát elsősorban a hőmérséklet határozza meg és a növekedési folyamatokban is fontos tényező. A tapasztalat szerint a hőmérséklet nem változik olyan szeszélyesen, mint a csapadék, ezért a kísérlettől távolabbi méréssel is kielégíthető az adatigény, bár általában rendelkezésre állnak mérések a kísérlet közeléből.

A csapadék adatnak a modellezett kísérlet közvetlen közeléből kell származnia, ellenkező esetben a becslés minősége erősen romlik. Ennek oka egyrészt a csapadék egyenlőtlen területi eloszlása, másrészt szárazságra hajlamos klímánkban a növényi produkció érzékenysége a csapadéokra.

A talajszelvény adatállományról

Az állomány tetszőlegesen sok talaj paramétereit tartalmazhatja. A sorszámozás (IDUMSL) a felhasználó döntésén múlik. A kapott csomagban levő talaj-

paraméterek előző felhasználók, fejlesztők adatai. Nem szabad szentírásként kezelni őket, de tartalmaznak tanulságos részleteket. A pedont és taxont a modell nem használja a becsléshez, de hasznos lehet a későbbi azonosításnál, ha jól határozzuk meg. Az AMP nálunk a júliusi és januári középhőmérséklet különbsége.

Az albedó, vagyis a talajfelszín fényvisszaverése 0,1 és 0,3 között változhat. Ha nincs mérési adatunk, becsülhető a szervesanyag-tartalom és a szöveti összetétel alapján (RITCHIE et al., 1986. 38. old.). A hazai ásványi talajok albedója 0,13-0,14, nem nagyon változik és a modell nem nagyon érzékeny rá. Ha mész vagy só van a felszínen, akkor érdemes egy-egy mérést végezni. 5 % szervesanyag-tartalom felett 0,11 az albedó, 10 % felett pedig 0,08. A világos sivatagi homokok közelítik meg a 0,30 értéket.

Az U érték az ún. első fázisú talajpárolgási jellemző. Arról ad tájékoztatást, hogy a talaj felszínéről mennyi víz párolog el azalatt, míg a felszínről állandó sebességgel (potenciális evaporációs ráta szerint) folyik az evaporáció. Ezt 5 mm-nek mérték homokon és erősen dűzzadó agyagon és 14 mm-nek agyagos vályog talajon, vályogon 9 mm (RITCHIE, 1972).

A SWCON a szelvény drén (vízáteresztő) sebességi állandója, melyet a legkisebb áteresztő képességű réteg határoz meg. Azt adja meg, hogy egy nap alatt a vízkapacitást meghaladó tárolt víz hányad része hagyja el a réteget. Ez a modellben állandó marad a telítettségig a vízkapacitás (DUL) értékig. A SWCON egy kritikus pontja a modellnek. Eddig magyar talajokra közvetve a nitrátmozgáson keresztül kalibráltuk és vályogon 0,1, agyagon 0,03 értékeknél működött jól.

CN2, a lefolyási görbe száma 0, amikor nincs lefolyás és 100, amikor a

teljes csapadék lefolyik (USDA Soil Conservation Service, 1972). A görbék a lefolyás és a csapadék viszonyát fejezik ki. WILLIAMS és munkatársai (1984) módosítása révén különbséget lehet tenni a nedves, illetve a száraz talajra hulló csapadék között is. RITCHIE et al. (1986 - 39. old.) is közöl tájékoztató táblázatokat. A várható hazai napi csapadék mellett a kísérletek talajaira vonatkozólag alig van különbség a szóbjághető görbék lefolyásértékei között. A modell 75 CN2 érték alatt alig különbözött az eddigi magyarországi futtatásokban. Ez annak tulajdonítható, hogy a kísérletek nagyjából vízszintes területeken vannak és kicsiny lefolyással jellemezhetők.

Az AMP a júliusi és a januári középhőmérséklet különbsége. A DMOD-dal a mineralizációt lehet korlátozni egy 0-1 közötti szorzóval, ha erre utaló jelek vannak a talajban. A három friss szervesanyag-raktárra vonatkozó lebomlási alaprátát (szénhidrátra 0,8 nap⁻¹, cellulózra 0,05 nap⁻¹ és ligninre 0,0095 nap⁻¹), valamint a humusz bomlási alaprátát (0,000083 nap⁻¹) módosítja. Ez alkalmas helyi adaptáció elvégzésére, ha vannak mért ráták, vagy szezonális rétegenkénti mérési adatok a gyökérzóna nedvesség- és nitrogénállapotáról. Használata egyébként tudományosan nem indokolható, csakis DMOD = 1 beállítással.

A vízmozgást alapvetően a vízkapacitás értékek szabályozzák. A modellben szereplő LL a holtvíztartalmat, DUL a természetes vízkapacitást, a SAT pedig a telítettségű nedvességtartalmat jelenti. Meghatározásukhoz RITCHIE (1981) a hagyományos szántóföldi meghatározási módot javasolja (BALLANEGGER, 1953). Az LL mérésére olyan állapotot tart alkalmasnak, amikor a kifejlett növény a talajból már felvette az összes hozzáférhető nedvességet és már hervadási tü-

neteket mutat. A gyökérsűrűség eltérései miatt ez elvileg sem egyezik a laboratóriumi 4,2 pF-es értékekkel. A DUL meghatározásához a talajt a telítő esőzést követően 6-8 nappal tartja célszerűnek megmintázni.

Szemcseméret és térfogattömeg ismeretében RITCHIE számítási eljárást ajánl (ezt személyes kérésre át tudjuk adni). Az így nyert LL, DUL és SAT értékek eltérnek a hazai laboratóriumi mérések, illetve az ezt modellező Rajkai-féle becslések értékeitől (RAJKAI, 1989). RITCHIE általában mindháromra kisebb nedvességi értéket becsül. Az LL és DUL közötti különbséget 14 tf% körülnek számolja.

Ha a becslés pontossága megkívánja és a kísérleti adatbőség megengedi, akkor érdemes az LL, DUL és SAT értékeket talajnedvességi vagy drénmennyiségi, esetleg lefolyási mérési adatokkal ellenőrizni és pontosabban beállítani. Hazai kísérleti adaptálásoknál azt tapasztaltuk, hogy a modell futtatása során jó eredményeket tudunk produkálni olyan LL-inputtal, melyek a Rajkai-közelítéshez közel álltak, annál egy kicsit alacsonyabbak voltak. A laboratóriumi (15 bár szívóerőnél mért) holtvíztartalmak az eddigi megfigyeléseink szerint ennél magasabbak voltak. Ha nem tudjuk mérni a DUL-t a fent említett módon, akkor tapasztalataink szerint a 2,5 pF-értékkel jellemezhető nedvességtartalom használható közelítést ad. A hazai gyakorlatban használt 2,3 pF-es VK jóval több nedvességet tartalmaz, mint amit a modell vár a DUL értékhez. A SAT beállítására csak nedvesebb körülmények között kell figyelni, amikor befolyásolhatja a lefolyási viszonyokat.

A SWINIT, a DNH4 és a DNO3 default értékek, melyeket a program közvetlenül nem használ fel. Gyakorlati

haszna, hogy a "talaj kezdeti állapot" adatállományban található értékekkel kísérletet végezve (megváltoztatva) az itteni beállítás változatlan marad és innen visszamásolhatjuk az eredeti kezdőértékeket oda. Jó tudni, hogy az "általános eredmény állomány" is a "talaj kezdeti állapot" adatállományból nyeri a kezdőértékeit.

A WR gyökéreloszlás tömbben megadjuk a faj- és fajta-jellegnek megfelelően a gyökerek mélységi eloszlását stresszmentes esetben. Ez egy exponenciálisan csökkenő gyökérmennyiséget jelent. A WR dimenzió nélküli számsor, melyet a modell a számított vízhiánnyal és nitrogénhiánnyal együtt a megtermelt napi gyökérmennyiség rétegenkénti elosztásánál vesz figyelembe. Az OC = humusz · 0,58, a BD a talaj tömege 104 °C-on való szárítás után, de a talaj egy-egy nedves térfogatára vonatkoztatva. A nedvesen mért térfogatra csak a duzzadó agyagásványok esetében kell tekintettel lenni.

A búza genetikai adatállományáról

A PIV-vernalizációs jellemző egy dimenzió nélküli szám, mely 0-tól 9-ig terjed, a búzafajta vernalizáció iránti igényét számszerűsíti. Növekedése a vernalizációs faktort csökkenti, ezáltal lassítja a növény fejlődését. A fajtára jellemző számot fitotronban vagy vetésidő kísérletekben lehet meghatározni. Ezek híján sok olyan kísérletre van szükség, melyekben fenológiai megfigyeléseket is végeztek, melyek által - megfelelő napi időjárási adatsor segítségével - optimalizációval nyerhető genetikai állandó.

A PID-fotoperiódus érzékenységi jellemző növelése késlelteti a növény fejlődését, és ezzel együtt a virágzás idő-

pontját. A P5-jellemző hasonlóan hat, de a virágzás utáni időszakban. Ezzel a fiziológiai érés időpontja befolyásolható. A G1-jellemzővel a növényenkénti szemszám, a G2-vel pedig a termés nagysága változtatható, a G3 nem hatott a termésre.

A kukorica genetikus adatállományáról

A P1-jellemző növelése késlelteti a növény fejlődését, és ezzel együtt a virágzás időpontját. A P5-jellemző hasonlóan hat, de a virágzás utáni időszakban. Ezzel a fiziológiai érés időpontja befolyásolható. A G2 jellemző a növényenkénti szemszám, a G3-mal pedig a termés nagysága változtatható. Figyelni kell arra, hogy a G2- és G3-jellemzők nem azonosak a búza és kukorica növények esetében!

A növénymaradvány adatállományról

Ezek az adatok elég pontosan becsülhetők az előző évi termés mennyisége és a növényre vonatkozó korábbi ismeretek alapján. Nagy hibát azzal lehet elkövetni, ha nem vesszük tekintetbe, hogy elhordták vagy rajtahagyták, ill. elégették a maradványokat.

A talaj kezdeti állapota adatállományról

A kezdeti talajnedvességre és nitrogén-koncentrációkra érzékenyen reagál a növényi produkció a modellben, ha azok a kritikus értékek közelében vannak. Ha bőségesen rendelkezésre állnak ezek a források (pl. a nedvesség a vízkapacitás közelében, ill. a $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalom 40-50 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ felett), akkor a termés már nem

érzékeny a további változásra, annál inkább a nitrát kimosódás.

Amikor nem ismerjük az induló nedvességet, de van előző évi időjárási adatunk, érdemes az előveteménnyel lefuttatni egy évet, vagy legalább hónapokat. (Az éveken átfutó program nincs az alapsomagban!) Az indítást az ISIM nevű változó szabályozza a kezelési adatállományban. Ha van közben a vízkapacitás értékig való telítődéshez elegendő csapadékos időszak, akkor természetesen nem számít, hogy milyen volt a kezdeti talajnedvesség. Nitrogénnél is, ha van közben nagyobb adagú trágyázás, akkor csökken a kezdeti érték jelentősége. A sok éves folyamatos futásokban van előnye ennek a lehetőségnek. Amennyiben nincs induló nedvességi és nitrogén mérésünk, de van több a tenyészidőszakban, akkor az első méréshez iterációkkal be lehet hangolni a kezdő értéket. A későbbi mérésekkel lehet tesztelni a nitrogénháztartási becslések helyességét.

Ha semmilyen kezdő adat nincs, akkor más helyi mérések, korábbi ismeretek alapján kell kezdőértéket adni. Hazai viszonyok között az ammónium-koncentráció sok talajon 4-5 ppm körül van a gyökérzónában. A pH-ra csak szélsőséges értékeknél érzékeny a modell.

Az öntözési és a trágyázási adatállományokról

Egyszerű a kitöltésük. A trágyabedolgozásnál a program nem fogadja el a 0 cm-t. Fejtrágyázásnál is be kell írni egy minimális bedolgozás mélységet.

A kezelési adatállományról

A talaj és a növény sorszámát arra használja a program, hogy a kívánt talajt

és növényfajtát kiválassza a futáshoz a SPROFILE.WH2 és a GENETICS.WH9 nevű állományokból. Ha érdekelt minket gyorsan lefuttathatjuk más fajtával vagy akár más talajon is a kísérleteket.

Az öntözési kódot 1-re kell állítani, ha nincs öntözés, 2-re, ha meg akarjuk adni az öntözés napját és mennyiségét az öntözési állományban, 3-ra, ha automatikus öntözést kérünk, 4-re, ha korlátlan a vízellátás és nem akarjuk a vízmérleget naponta számoltatni.

A nitrogén rutin kóddal ki (ISWNIT=0) és be (ISWNIT=1) lehet kapcsolni a nitrogénes szubrutint. Akkor indokolt a kikapcsolás, ha a nitrogén nem korlátozó tényező és a futás sebességét növelni akarjuk.

A NYR-nek lehet kívánt számú évet megadni, annyiszor indítja újra a futást. Azonban a kezdőértékeket nem tudja az előző évi eredmény állományból kivenni, tehát változatlan, ill. előre megadott kezdőértékekkel fut a sokéves kísérlet.

A kísérleti megfigyelt és mért adatállományról

Az XGRWT, XBIOM, XSTRAW abszolút száraz tömegre vonatkoznak! Ezzel szemben a kukoricatermés 15.5% nedvességtartalommal (májusi morzsolt) van számítva. Mi átírtuk a hazai gyakorlatnak megfelelő 14%-ra. A búzára viszont a Generik verzió száraz anyagban adta meg a szemtermést. Ezért figyelni kell, hogy a használt változat forrásnyelvi programjában mi szerepel. Ha csak "exe-file" formában van meg a program, akkor is lehet ellenőrizni a termés nedvességtartalmát. Az eredmény állomány ugyanis közli a szemszámot és a szemtömeget, melyekből ki lehet szá-

molni a száraz termést. (A szemtömeg biztosan száraz anyagban van.)

A kísérleti könyvtárállományról

Ez az állomány vezérli a futásokat. Figyelemmel állítsuk össze. A kísérlet bemenő és eredmény állományneveit tartalmazza. Egy kísérlet állománynevei három sorban vannak, utána jönnek a következő kísérlet (vagy év) állománynevei. A bemenő állománynevek csak 12 karakter hosszúak lehetnek és egy szóköz választja el őket egymástól. Minden kísérlet első sorának elején van egy általános állománynév. Ez a nyolc karakter változatlanul ismétlődik 7 bemenő állománynévben, csupán a kiterjesztés változik. Egy szóközzel később a kísérlet címét adjuk meg (40 karakter), utána szóköz és az időjárásállomány neve, majd a talajállomány neve következik. A második sorban azoknak a bemenő állományoknak a nevei vannak, melyeknek kiterjesztése 4,5,6,7,8-cal végződik és a genetikus állomány neve. A harmadik sorba tegyük a mért adatok állományneveit (A-ra vagy B-re végződő kiterjesztéssel), utánuk a négy eredmény állománynév szerepel.

Az időjárási könyvtárállományról

Az interaktív futásokhoz használja a program. Ez az állomány a kísérlethez tartozó időjárás adatok állománylistáját tartalmazza. A sor elején a kísérlet általános kódja (4 karakter), szóköz és az időjárásállomány címe (40 karakter), utána szóköz és a kezdő és a befejező dátum (hó/ nap/év), szóköz és az időjárásállomány neve szerepeljen.

Megjegyzések az eredmény leírásokról

Négy eredmény állomány készül a futások nyomán. Vigyázzunk, mert ezek minden újabb futás során felülíródnak. Ezért, ha össze akarjuk hasonlítani őket, át kell nevezni az újabb futás előtt. A négy állomány neve (a kiterjesztés MZ a kukorica és WH a búza esetében):

Általános eredmény állomány -

OUT1.MZ

Növényi növekedési eredmény állomány -

OUT2.MZ

Vízháztartási eredmény állomány -

OUT3.MZ

Nitrogén háztartási eredmény állomány -

OUT4.MZ.

Az eredmény állományokban szereplő rövidítések nem találhatók meg az angol nyelvű leírásokban sem. Kibogarásztuk és ezen a helyen közlöm őket. Ez tájékoztatást ad az új érdeklődőknek is, hogy milyen jellegű kérdéseket lehet feltenni a modellnek. Az eredmény állományokban található rövidítéseket abc sorrendben közlöm, egyenlőségjel után a jelentését, zárójelben a dimenzióját ismertetem.

BIOM = Föld feletti száraztömeg a fejlődési fázisok végén ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

BIOMASS = Föld feletti száraztömeg a biológiai éréskor ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

CDTT = Hőösszeg a csírázástól a fejlődési fázis végéig ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{nap}$)

CET = Halmozott evapotranszspiráció a csírázástól (mm)

CNSD1 = Átlagos talaj nitrogénhiány faktor a fejlődési szakaszban (1.)

CNSD2 = Átlagos talaj nitrogénhiány faktor a fejlődési szakaszban (2.)

CSD1 = Átlagos talaj vízhiány faktor a fejlődési szakaszban (1.)

CSD2 = Átlagos talaj vízhiány faktor a fejlődési szakaszban (2.)

DATE = Dátum

DAY = Az év napja

EO = Potenciális evapotranszspiráció ($\text{mm} \cdot \text{nap}^{-1}$)

EP = Aktuális növény transzspiráció ($\text{mm} \cdot \text{nap}^{-1}$)

ET = Aktuális talajpárolgás ($\text{mm} \cdot \text{nap}^{-1}$)

FINAL GPSM = Szemszám a biológiai éréskor ($\text{szem} \cdot \text{m}^{-2}$)

GRAIN = Szenttömeg ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

GRAIN N UP. = A szem nitrogéntartalma ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

GRAIN N% = Szem nitrogéntartalom biol. éréskor (%)

GRAIN UPTK = A szem N-felvétele ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

GRAINS $\cdot \text{EAR}^{-1}$ = Szemszám a biol. éréskor ($\text{szem} \cdot \text{cső}^{-1}$ vagy $\text{szem} \cdot \text{kalász}^{-1}$)

GRAINS $\cdot \text{m}^{-2}$ = Szemszám a biol. éréskor ($\text{szem} \cdot \text{m}^{-2}$)

ISTAGE = A fejlődési szakasz sorszáma

KERNEL WT. = Szenttömeg a biológiai éréskor (mg)

KERNEL WT. = Szenttömeg a biol. éréskor ($\text{g} \cdot \text{szem}^{-1}$)

L1 = Gyökérsűrűség az 1. talajrétegben ($\text{cm gyökér} \cdot \text{cm}^{-3}$ talaj)

L3 = Gyökérsűrűség az 3. talajrétegben ($\text{cm gyökér} \cdot \text{cm}^{-3}$ talaj)

L5 = Gyökérsűrűség az 5. talajrétegben ($\text{cm gyökér} \cdot \text{cm}^{-3}$ talaj)

LAI = Levélfelület index a fejlődési fázisok végén ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$)

LEAF = Levéltömeg ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

LN = Aktuális levélszám

MAT. DATE = Biológiaiérés napja, az állomány 50%-a érett (év napja)

MAX = Napi hőmérsékleti maximum ($^{\circ}\text{C}$)

MAX. LAI = Maximális levélfelület index ($\text{cm}^2 \cdot \text{cm}^{-2}$)

MIN = Napi hőmérsékleti minimum ($^{\circ}\text{C}$)

N% = A Növény N-tartalma a fejlődési fázis végén (%)

NFAC = Nitrogén stressz faktor (0 - 1)

NH₄ (1-3) = Aktuális talaj NH₄-N az 1-3 talajrétegben ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

NO₃ (1-5) = Aktuális talaj NO₃-N az 1-5 talajrétegben ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

NUPTK = A növény N-felvétele a fejlődési fázisok folyamán ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

PESW = A növény által felvehető összes vízkészlet a talajprofilban (cm)

PHEN. STAGE = A növény fejlődési fázisa

PREC = Napi csapadék összeg (mm)

PTF = A föld feletti száraztömeg rész a teljes száraztömegből

RAIN = Halmazott csapadék összeg a csírázástól (mm)

ROOT = Gyökértömeg ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

RTD = Gyökerezés mélysége (cm)

SDTT = Hőösszeg az aktuális fejlődési szakaszban ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{nap}$)

SILK. DATE = Nővirágzás napja, az állomány 50%-a virágzik (év napja)

SR = Napi globálsugárzás összeg ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nap}^{-1}$)

STEM = Szártömeg ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)

STRAW = Szemmentes föld feletti száraztömeg biol. értéskor ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

STRAW N UP. = A szemmentes növény föld feletti nitrogéntartalma ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

SW1-5 = Talajnedvesség az 1-5. talajrétegekben ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

TOPS N % = A föld feletti növény aktuális nitrogéntartalma (%)

TOT N UP. = A növény által felvett összes nitrogén ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

VEG N UPTK = A szemmentes növény N-felvétele ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

YIELD = Szemtermés 14%-os nedvességtartalommal ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Megjegyzem, hogy az eredmény kiíratást lehet napi léptékben kérni vagy bármilyen ennél nagyobb léptékben.

A CSD1 és a CSD2 az egyes fenológiai szakaszokban számolt vízhiányt fejezik ki. Az első a fotoszintézist befolyásolja, ez a kevésbé érzékeny faktor. A második érzékenyebben változik az aszályosra hajló időszakban, ez a hosszúságbeli növekedést befolyásolja. Értékeik 0 és 1 között változhatnak. A "0" stressz mentességet jelent, az "1" a maximum lehetséges stresszt.

A CNSD1 és a CNSD2 az egyes fenológiai szakaszokban számolt nitrogénhiányt fejezik ki. Az első a fotoszintézist befolyásolja, ez a kevésbé érzékeny faktor. A második érzékenyebben változik a nitrogénhiányos időszakban, ez a levél öregedést és a szem nitrogén-koncentrációt befolyásolja. Értékeik 0 és 1 között változhatnak. A "0" stressz mentességet jelent, az "1" a maximum lehetséges stresszt.

A modell növényenként egy csővel, ill. kalással számol, melyet hasznos tudni a szemszám per cső, ill. kalász (táblázat 23. sor) értékelésénél. NFAC = 1 ha nincs nitrogén stressz, azaz az aktuális nitrogén-koncentráció megegyezik a kritikus koncentrációval. Amint a föld feletti rész nitrogén-koncentrációja közelíti a minimális koncentrációt az NFAC közelíti a nullát.

A futtatási segédletről

Az egyes CERES változatok különböző fejlettségű felhasználói segédprog-

ramokat ajánlanak fel. Magyarországon jelenleg a DSSAT-val együtt terjesztett CERES 2.10 változat és az ún. CERES Generic (5 növény: kukoricát, búzát, cirkot, kölest, árpát és ugart magában foglaló) 1.99 változat van forgalomban. Ezek egy főmenüt és a hozzá tartozó almenük emeleit foglalják magukban. A többéves futást is támogatják, azonos kezdő-értékekkel, de eltérő időjárási adatokkal. Lehetővé teszik a kezelések futásait egyetlen sorozatban.

A menüből egyszerre egy növényt majd egy kísérletet lehet választani. Ezek után egy kezelést vagy az összes kezelést egy futásban választhatjuk ki. Innen elágazik a menü a futás felé vagy azt megelőző módosítások irányába. Választhatunk az egy hetestől föl vagy lefelé eltérő kiiratasi gyakoriságot. Külön megjelölhetjük, hogy hány naponként akarjuk vizsgálni a változásokat a vizes, a növekedési, illetve a nitrogén eredmény állományokban.

Az azonosítás érdekében és a DSSAT rajzoló programjainak a használatához a futásokat elnevezhetjük, sorszámozhatjuk. Ha a vetés napja kisebb, mint a futás indítónapja, akkor figyelmeztetést kapunk. Ezt nem kell figyelembe venni, ha az előző év őszi dátuma miatt állt elő ez a helyzet. Az időjárási állományunk tavaszi növények esetében is kezdődhet az előző évben pl. az őszi trágyázás figyelembe vétele miatt, ellenkező esetben az őszi trágyázást csak a kezdeti talajnitrát, ill. ammónium értékben lehet figyelembe venni. A program ilyenkor is csak egy időjárás állományt olvas be egy növényi ciklus futásához, tehát minden futáshoz biztosítani kell az indítástól a futás végéig terjedő időjárási adatsort. Ha két éves időjárási sorokat fűzünk egybe egy éves futásokhoz, vigyázni kell arra, hogy az első éves idősor ne kezdődjön a kö-

vetkező (a tényleges kísérleti) év vetésének napján vagy az előtt, mert a program "elveti" a növényt az előző évben.

Párbeszédes módon is lehet változtatni a bemenő paramétereket a RUN-TIME OPTIONS feliratú kép opciójaként. A DSSAT verzió 12, a GENERIC változat 13 lehetőséget kínál fel. Utóbbi a klímaváltozásokat is lehetővé teszi a napi adatok additív vagy multiplikatív változtathatósága révén. Az egyes menüpontok könnyen érthetőek, nem igényelnek magyarázatot. Csupán néhány megjegyzést érdemes tenni. A módosítások csak egy futásra szólnak, a beírt bemenő állományok nem változnak meg, védve vannak, mégis lehet kísérletezni, hogy mi lenne, ha megváltoztatnánk azokat. Kivétel az új sorok beírása (ott, ahol erre a program lehetőséget kínál fel) pl. új öntözési vagy trágyázási időpont és mennyiség vagy új fajta létrehozása a megfelelő bemenő állományban. A talajprofilra vonatkozóan rétegenként is eszközölhetünk változtatásokat, de a kezdeti nedvességtartalmat a maximális hasznosvíz százalékában is megadhatjuk a teljes szelvényre egyetlen számmal.

Lehetőség van a nitrogén-, illetve a vízmérleg számítást mellőzni, ha feltehető, hogy ezek nincsenek hiányban az adott körülmények között. Ezzel gyorsítjuk a futást. A mai gépek adta sebességek mellett erre nem sokan fognak igényt tartani. Egy év futás csak néhány másodpercet vesz igénybe.

Irodalom

- BACSI, ZS. & HUNKÁR, M., 1994. Assessment of the impacts of climate change on the yields of winter wheat and maize, using crop models. *Időjárás*. **98**, (2) 119-134.

- BALLANEGGER R., 1953. Talajvizsgáló mód-szerkönyv. Mezőgazd. Kiadó. Budapest.
- CERES User's Guide, 1989. A User's Guide to CERES Wheat-V2.10, IFDC. Alabama.
- CERES User's Guide, 1991. A User's Guide to CERES Maize- V2.10, IFDC, Alabama
- DEBRECZENI B. & DEBRECZENI B-NÉ (szerk.) 1994. Trágyázási kutatások 1960-1990. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- HANKS, J. & RITCHIE, J. T. (Eds.), 1991. Modelling Plant and Soil Systems. Agronomy Series 31. ASA, CSSA, SSSA Publ. Madison, Wisconsin, USA.
- HUNKÁR, M., 1994. Validation of crop simulation model CERES-Maize. Időjárás. **98**. (1) 37-46.
- IBSNAT, 1986. Documentation for IBSNAT Crop Model Input and Output Files, Version 1.0. Technical Report 5.
- IBSNAT, 1988. Experimental Design and Data Collection Procedures for IBSNAT. Technical Report 1.
- IBSNAT, 1990. Field & Laboratory Methods for the Collection of the IBSNAT Minimum Data Set. Technical Report 2.
- IBSNAT Progress Report 1982-85. University of Hawaii at Manoa, Honolulu.
- IBSNAT Progress Report, 1985-87. University of Hawaii at Manoa, Honolulu.
- IBSNAT Progress Report, 1987-90. University of Hawaii at Manoa, Honolulu.
- IBSNAT Symposium, 1989. Proceedings of 81st Annual Meeting of the American Society of Agronomy, Las Vegas, Nevada, October 1989. Part I-II.
- JONES, C. A. & KINIRY, J. R. (Eds.) 1986. CERES-Maize. A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A&M University Press, College Station.
- KINIRY, J. R. et al., 1992. A general, process-oriented model for two competing plant species. Trans. ASAE. **35**. 801-810.
- KOVÁCS G. J. & NÉMETH T. 1995: Termés- és nitrát-felhalmozódás modellezése és összehasonlítása mérésekkel tartamkísérletben. Agrokémia és Talajtan. **44**. 89-100.
- KOVÁCS, G. J. & RITCHIE, J. T., 1994. Using Simulation Models to Estimate Nitrate Leaching and Crop Production at the Farm Level in Hungary. Invited paper at ASA - CSSA - SSSA Annual Meeting. November 13-18, Agronomy Abstract. 21. Seattle, Washington.
- KOVÁCS, G. J. et al., 1989. Modeling the leaf area development of different maize genotypes. IBSNAT Symposium 1989. Proceedings of 81st Annual Meeting of the American Society of Agronomy, Las Vegas, Nevada, October 1989. Part II. Poster 73.
- LOAGUE K., 1994. Validating near-surface hydrologic response models with statistical and geographical criteria: problems. Agronomy Abstracts, 1994 Annual Meetings of ASA-CSSA-SSSA 234.
- NÉMETH T., 1994: Nitrátbemosódási és -felhalmozódási vizsgálatok az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletekben (OMTK). In: Trágyázási kutatások 1960-1990. (Szerk.: DEBRECZENI B. & DEBRECZENI B-NÉ) 124-130. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- RAJKAI K., 1988. A talaj víztartó képessége és különböző talajtulajdonságok összefüggésének vizsgálata. Agrokémia és Talajtan **36-37**. 15-30.
- RITCHIE, J. T., 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Res. **8**. 1204-1213.
- RITCHIE, J. T., 1981. Soil water availability. Plant and Soil. **58**. 327-338.
- RITCHIE, J. T. et al., 1986. Model inputs. In: CERES-Maize. A Simulation Model of Maize Growth and Development. (Eds.: JONES, C. A. & KINIRY, J. R.) 37-48. Texas A&M University Press. College Station.

- RITCHIE, J. T. et al., 1994. CERES Cereal Generic Model. FORTRAN Source Code. Michigan State University, East-Lansing, MI.
- USDA, Soil Conservation Service, 1972. National Engineering Handbook, Hydrology Section 4, Chapter 4-10.
- VAN GENUCHTEN, M. TH. 1994. Is modell validation really possible? Broadening horizons. 86th Annual Meeting of ASA-CSSA-SSSA. 118. Seattle, WA.
- WILLIAMS, J. R., JONES, C. A. & DYKE, P. T., 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Transactions of the ASEA. 27. 1. 129-144.

Érkezett: 1995. május 15.

KOVÁCS GÉZA JÁNOS
MTA Talajtani és Agrokémiai
Kutató Intézete, Budapest